УДК 620.92.004.18

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ ГЕНЕРИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Б.В. Лукутин, О.Б. Лукутин, Е.Б. Шандарова

Томский политехнический университет
E-mail: lukutin@mail2000.ru

Описываются новые структурные решения электрической части автономных ветроэлектростанций, позволяющие увеличить на 30...40 % выработку и утилизацию генерируемой электроэнергии. Повышение энергоэффективности станций предлагается осуществлять с помощью регулирования количества аккумуляторных батарей и введения в структуру ветроэлектростанций регулируемого вентильного балласта с тепловыми нагрузками.

Одним из основных факторов, ограничивающих возможности более широкого практического применения ветроэлектростанций (ВЭС), является относительно высокая стоимость электроэнергии, особенно для ветроустановок, работающих в автономном режиме. Этому способствуют общетехнические закономерности, связывающие удельные мощностные и технико-экономические характеристики энергоустановок. Кроме того, стоимость ветроэлектростанции увеличивается за счет устройства аккумулирования энергии. Поэтому, проблема повышения энергоэффективности автономных ветроустановок имеет первостепенное значение для практического применения ВЭС в децентрализованных зонах.

Одним из актуальных направлений удешевления электроэнергии ВЭС, наряду со снижением стоимости оборудования станции, является обеспечение максимально возможного использования генерируемой электроэнергии, соответствующей энергии первичного энергоносителя – ветра. В существующих ветроэлектростанциях, по причине несоответствия временных графиков мощности автономной нагрузки станции и ветра, не удается утилизировать всю возможную энергию ветра.

Разработка новых ветрогенераторов с повышенными возможностями по выработке электроэнергии, при прочих равных условиях, позволит снизить стоимость электроэнергии и обеспечить возможность более широкого применения ветроэлектростанций.

Одним из способов утилизации «избыточной» на текущий момент времени электроэнергии ВЭС является зарядка аккумуляторных батарей. Аккумуляторная батарея автономной ВЭС является накопителем электрической энергии, генерируемой станцией, и элементом, согласующим мгновенную мощность нагрузки и ветрогенератора. Характерной особенностью аккумуляторных батарей является их способность отдавать значительный ток разряда при ограниченной зарядной мощности. Следовательно, аккумуляторная батарея обеспечивает покрытие пиковой нагрузки станции, но не способна, при соответствующих режимах, аккумулировать всю электроэнергию ветрогенератора, не востребованную в данный момент времени нагрузкой. Батарея аккумуляторов потребляет только мощность, соответствующую ее зарядному току. Согласовать зарядную мощность батареи аккумуляторов с избытком мощности ветрогенераторной системы позволяет регулирование количества аккумуляторных батарей а, следовательно, и емкости батареи с помощью соответствующего управляющего устройства.

Структурная схема ВЭС с регулируемым количеством аккумуляторных батарей показана на рис. 1. На схеме обозначены ВД – ветродвигатель, Г – электромашинный генератор ветроэлектростанции, В – выпрямитель, Н – блок полезных нагрузок, УУ – управляющее устройство, АБ – блок аккумуляторных батарей.

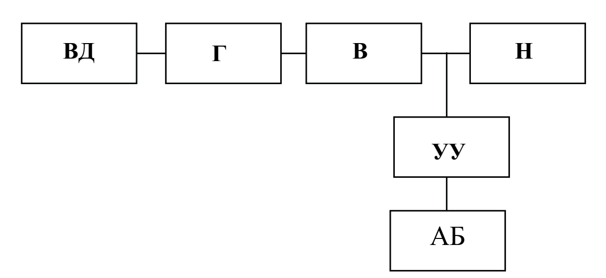


Рис. 1. *Ветроэлектростанция с регулируемыми аккумуляторными батареями*

Отличительная особенность предлагаемой системы электропитания заключается в возможности регулирования с помощью управляющего устройства емкости аккумуляторных батарей, подключаемых к машинно-вентильному генератору ВЭС [1]. Это позволяет регулировать зарядный ток аккумуляторных батарей и, соответственно, позволяет утилизировать практически всю мощность, развиваемую ветродвигателем.

В автономных системах генерирования электроэнергии типа гидро- или ветротурбина – электромашинный генератор соизмеримой мощности получили широкое распространение автобалластные системы регулирования режимов работы. Обычно балластные нагрузки включаются через вентильный регулятор мощности на выход синхронного или асинхронного генератора параллельно полезной нагрузке электростанции [2]. Балластную нагрузку следует рассматривать как дополнительную к полезной нагрузке станции, представляющую собой различные тепловые нагрузки. Таким образом балластное регулирование энергоу-

становок является эффективным способом утилизации энергии первичного источника с преобразованием ее в тепловую энергию.

В зависимости от типа электростанции, характера изменения мощности первичного энергоносителя P_1, закона регулирования балластной мощности $P_б$, такие системы могут решать различные задачи, связанные с генерированием электроэнергии. Например, автобалластное регулирование может обеспечить стабилизацию выходного напряжения генератора по величине и частоте в условиях изменяющейся полезной нагрузки станции $P_н$ или изменяющейся мощности $P_г$ и мощности P_1.

Кроме функции стабилизации рабочего режима системы турбина-генератор, автобалластные системы могут успешно решать и другие задачи. Например в ветроэлектростанциях такие системы могут обеспечить максимальное использование изменчивой энергии ветра при реальных графиках нагрузки электроприемников. Баланс мощностей ветроэлектростанции для этого режима описывается равенством:

$$P_г = P_н + P_б.$$

На рис. 2 изображена структурная схема ВЭС с автобалластным регулированием. Условные обозначения: Т – ветротурбина, Г – генератор, РН – регулятор напряжения, В – выпрямитель, РБ – регулятор балласта, БН – блок балластных сопротивлений, АБ – аккумуляторная батарея, Н – полезная нагрузка.

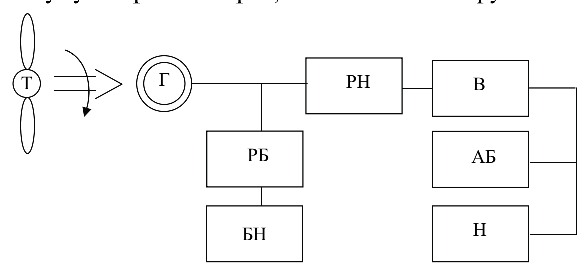


Рис. 2. *Структурная схема ВЭС с автобалластным регулированием*

Отличие предложенной в данной работе ВЭС от существующих заключается в том, что в нее дополнительно введен регулятор мощности балласта, включаемый на выход якорной цепи генератора [3].

Основным назначением автобалластной системы в данной схеме является утилизация максимальной мощности ветротурбины при любых рабочих параметрах ветра и изменяемой мощности полезной нагрузки от номинальной до холостого хода. Дополнительным эффектом действия автобалластной системы является ограничение диапазона частот вращения системы ветротурбина – генератор, что снижает требования к ее механической прочности и улучшает использование активных частей электрической машины.

В качестве параметров регулирования мощности балласта целесообразно использовать мощность, потребляемую полезной нагрузкой, и скорость ветра, определяющую мощность ветротурбины.

Формирование и стабилизация напряжения с необходимыми характеристиками качества осуществляется в таких системах с помощью вторичных источников электропитания, обычно выпрямительно-инверторных преобразователей. Преобразователи со звеном постоянного тока, кроме известных достоинств, удобны для ветроэлектростанций с аккумуляторными батареями.

Силовые схемы полупроводниковых регуляторов балластной нагрузки могут быть достаточно разнообразны. Принципиально можно отметить два типа регуляторов, отличающихся по принципу действия: регуляторы с набором дозированных по мощности балластных нагрузок и фазорегулируемые устройства, регулирующие мощность на тепловой нагрузке.

Переключение вентилей коммутатора дискретного балласта обычно осуществляется естественным образом, поэтому для ряда схемных решений полупроводниковых ключей характерно отсутствие искажений формы напряжения генератора. В этом заключается важнейшее достоинство автобалластных систем стабилизации с полупроводниковыми коммутаторами.

Недостатком таких схем является необходимость использования большого числа управляемых вентилей, что усложняет и удорожает систему регулирования. Для достижения высокой точности стабилизации число дозированных ступеней балластной нагрузки должно быть не менее 15 [4]. Кроме усложнения схемы, дробление балласта на ряд точно дозированных ступеней затрудняет полезное использование рассеиваемой на нем мощности. Поэтому полупроводниковые коммутаторы более целесообразны в установках небольшой мощности – в пределах нескольких кВт.

Фазорегулируемые автобалласты в значительной мере лишены указанных недостатков, но вносят заметные искажения в форму кривых тока и напряжения генератора. При наличии вторичного источника электропитания искажения напряжения генератора практически не сказываются на качестве напряжения на нагрузке, поэтому несинусоидальность токов и напряжений влияет в основном на потери в электромашинном генераторе.

Принимая во внимание важность таких показателей автономных электростанций, как простота, надежность и дешевизна, следует отметить перспективность фазорегулируемых систем балластного управления электрической мощностью нагрузки энергоустановок.

Недостатком фазорегулируемого автобалласта являются искажения кривой фазного тока генератора, что вызывает искажение его напряжения и увеличение мощности потерь в электрической машине. Кроме того, фазовое регулирование при естественной коммутации вентилей, определяет изменение в процессе регулирования всех составляющих мощности: активной, реактивной и мощности искажений, что усложняет достижение вы-

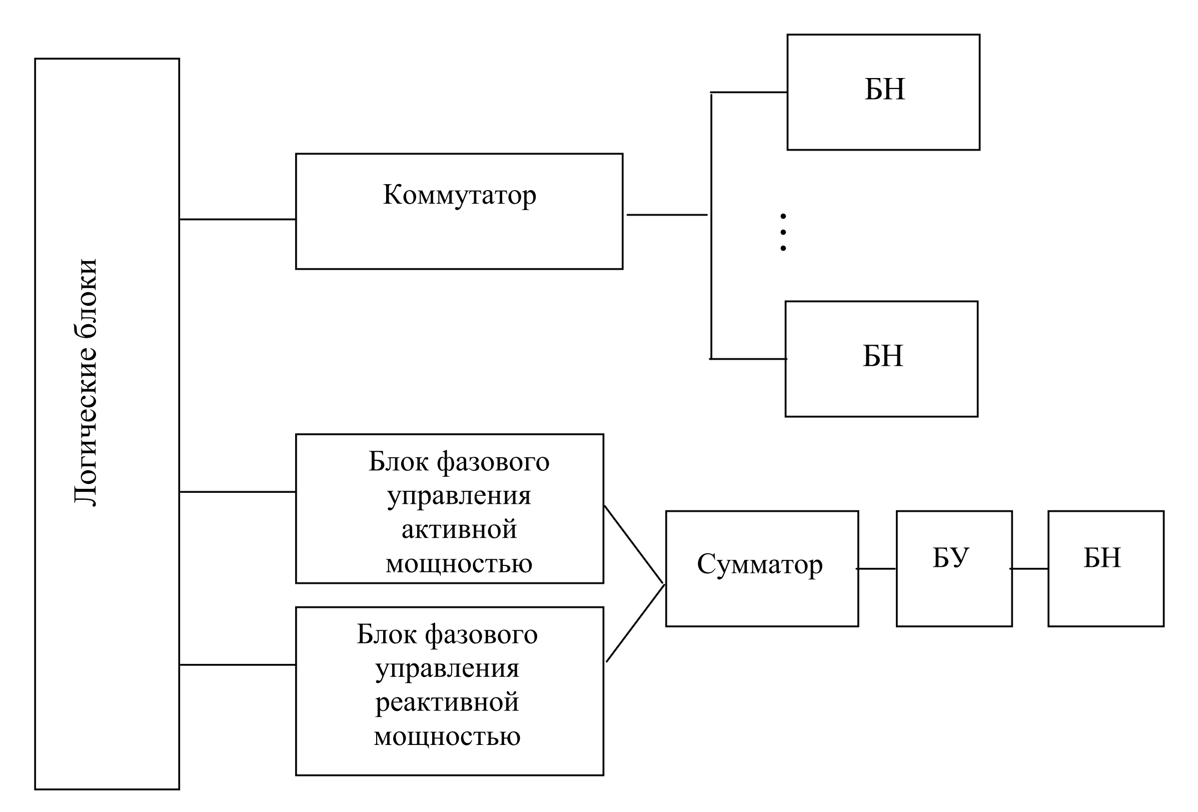


Рис. 3. *Комбинированная автобалластная система с раздельным регулированием активной и реактивной мощности*

сокой точности регулирования мощности балластной нагрузки.

Стремление улучшить энергетические характеристики и точность регулирования автобалластных систем приводит к комбинированным схемам регулирования, сочетающим принципы дискретного и фазового регулирования. Структурная схема такой энергоустановки показана на рис. 3 [5]. Особенностью схемы является наличие коммутатора с дозированными балластными нагрузками и фазорегулируемой балластной нагрузки БН с блоком управления БУ. Такая схема позволяет уменьшить количество ступеней дискретного балласта с одновременным обеспечением плавности регулировки за счет фазорегулируемой части балласта. Относительное уменьшение мощности фазорегулируемого балласта обеспечивает меньший уровень искажений напряжения генератора.

Особенностью предлагаемой новой схемы комбинированного регулирования балластной нагрузки является возможность раздельного регулирования активной и реактивной составляющих балластной нагрузки. Это позволяет более точно регулировать режимы работы электромашинного генератора, что особенно ценно для асинхронных машин с короткозамкнутым ротором.

Устройство содержит коммутатор, осуществляющий подключение дозированных балластных нагрузок и два блока фазового управления. Преимущество данной схемы заключается в том, что она дополнительно снабжена блоком фазового управления активной мощностью и блоком фазового управления реактивной мощностью, управляемых от логического блока, выходные сигналы которых суммируются и поступают на управление вентильного фазорегулируемого устройства, питающего балластную нагрузку.

Возможность раздельного регулирования составляющих мощности, рассеиваемой на балласте, имеется только при условии выполнения полупроводникового фазорегулируемого блока БУ на полностью управляемых вентилях, предусматривающих регулирование угла включения вентилей. Предлагаемая система регулирования режимов работы ВЭС, кроме более точного регулирования ее электрической мощности, обеспечивает меньшие искажения формы кривой напряжения генератора.

Таким образом, вентильные автобалластные системы являются мощным инструментом регулирования рабочих режимов системы турбина – генератор и могут использоваться для повышения энергоэффективности автономных ветроэлектростанций.

Следует отметить технико-экономическую целесообразность использования автобалластных систем регулирования мощности нагрузки в ВЭС. Расчеты, проведенные для автономной ветроэлектростанции, питающей бытовую нагрузку в умеренных ветровых условиях, показали возможность увеличения выработки энергии на 30...40 %. При этом стоимость ВЭС увеличивается не более чем на 10...15 % [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свид. на ПМ 42718 РФ. МПК^7 H02P 9/04. Ветроэлектростанция с регулируемыми аккумуляторными батареями / Б.В. Лукутин, А.О. Суздалев, Е.Б. Шандарова. Заявлено 28.07.2004; Опубл. 10.12.2004, Бюл. № 34. – 6 с.: ил.
2. Лукутин Б.В., Обухов С.Г., Шандарова Е.Б. Микрогидроэнергетика. – Томск: STT, 2001. – 120 с.
3. Свид. на ПМ 45214 РФ. МПК^7 H02P 9/04. Ветроэлектростанция с регулятором мощности балласта / Б.В. Лукутин, О.Б. Лукутин, Е.Б. Шандарова. Заявлено 23.11.2004; Опубл. 27.04.2005, Бюл. № 12. – 6 с.: ил.
4. Лукутин Б.В., Обухов С.Г., Озга А.И. Выбор параметров цифрового регулятора частоты автономной микрогидроэлектростанции // Гидротехническое строительство. – 1992. – № 9. – С. 40–43.
5. Свид. на ПМ 33837 РФ. МПК^7 H02P 9/04. Устройство для регулирования частоты вырабатываемого тока автономного генератора / Б.В. Лукутин, С.Г. Обухов, Е.Б. Шандарова. Заявлено 30.06.2003; Опубл. 10.11.2003, Бюл. № 31. – 6 с.: ил.
6. Лукутин О.Б., Шандарова Е.Б. Электромеханический преобразователь энергии ветра с максимальной выработкой электроэнергии // Современные техника и технологии: Матер. IX Междунар. научно-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – Т. 1. – С. 254.

УДК 621.311.001